

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, зав. отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
Ю. С. НЕМЧЕНКО, главн. метролог, НТУ «ХПИ»;
И. П. ЛЕСНОЙ, зав. лаб, НТУ «ХПИ»;
С. Б. СОМХИЕВ, вед. инж., НТУ «ХПИ»

ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, ВЫЗВАННЫМ МОЛНИЕЙ («КАБЕЛЬНАЯ ИНЖЕКЦИЯ», ФОРМА 1,2)

Описано конструкцію та результати атестації генератора, призначеного для випробувань бортового авіаційного обладнання на сприйнятливість до перехідних процесів, які викликані блискавкою, відповідно до вимог міжнародних стандартів. Генератор виробляє імпульси напруги та струму форми 1,2 з п'яти рівнів випробувань, випробування проводяться методом «кабельної інжекції».

The construction and the results of the attestation of the generator intended for testing of the on-board aircraft equipment on susceptibility to fast transient process, caused lightning, according to International standards are described. The apparatus generates the test voltage and current of the form 1.2 on five levels of testing, tests are conducted by method «Cable injection».

Описана конструкция и результаты аттестации генератора, предназначенного для испытания бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией, в соответствии с требованиями международных стандартов. Генератор производит импульсы напряжения и тока формы 1,2 по пяти уровням испытаний, испытания проводятся методом «кабельной инъекции».

В настоящее время обязательным видом испытаний бортового электро-технического и электронного оборудования (БАО) летательных аппаратов являются испытания на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. Эти процессы возникают при прямом ударе молнии в корпус летательного аппарата и последующем растекании токов молнии по различным металлическим узлам этих аппаратов, в частности, по межблочным линиям связи (МЛС).

Высокая поражающая эффективность токов растекания объясняется тем, что при этом в МЛС возникают различного вида наведенные высокие импульсные напряжения и большие токи, представляющие собой серьезную угрозу для современной слаботочной электроники БАО.

Поэтому стойкость к переходным процессам, вызванным молнией, выделена в отдельный вид испытаний, который регламентируется нормативным документом EUROCAE ED-14D/ RTCA-DO-160D «Условия окружающей среды и методики испытаний бортового оборудования», Раздел 22: «Восприимчивость к переходным процессам, наведенным молнией» (отечественный аналог этого документа КТ-ВВФ/DO-160D/ED-14D/ [1]).

Этот НД с 2004 года распространяется и на все типы БАО, выпускаемые в Украине и странах СНГ.

Данный вид испытаний содержит три независимых метода испытаний:

- испытания «контактным вводом»;
- испытания «кабельной инъекцией»;
- испытания «вводом в заземление».

В данной статье мы остановимся только на методе испытаний «кабельной инъекцией», при котором испытательные импульсы заданной формы и амплитуды индуцируются в проводниках МЛС при помощи инжектирующего трансформатора. Этот метод используется для проверки способности самолетного оборудования выдерживать внутренние электромагнитные эффекты, создаваемые внешним воздействием молний без функциональных отказов и повреждений.

Идеологическая схема формирования импульсов напряжения и тока требуемой формы приведена на рис. 1.

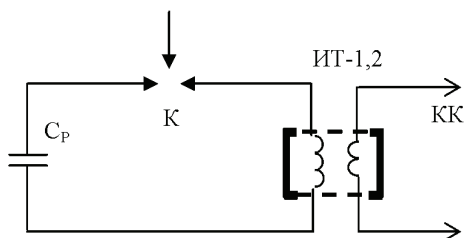


Рисунок 1 – Схема формирования импульсов напряжения и тока

В этой схеме конденсатор C_p , заряжаемый до определенного напряжения, разряжается с частотой 1 МГц через управляемый механический коммутатор К на первичную обмотку импульсного трансформатора ИТ-1,2 (инжектора), который и является основным элементом схемы. ИТ-1,2 состоит из 2-х одновитковых обмоток, охватывающих незамкнутый ферритовый сердечник ИТ-1,2. Этот сердечник состоит из двух блоков по 12 склеенных вместе ферритов (в первом блоке ферриты имеют П-образную форму с габаритами 50 x 30 x 37 мм в каждом) и во втором блоке используются ферриты в виде прямоугольной перемычки. Эти два блока общей шириной 363 мм стянуты вместе и размещены в разъемном изоляционном корпусе. Обе половины этого корпуса соединены при помощи петлевого соединения. При сведении обеих половин корпуса остается зазор 0,5 мм для того, чтобы сердечник не насыщался.

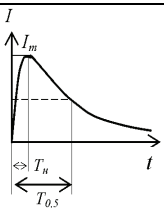
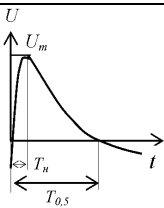
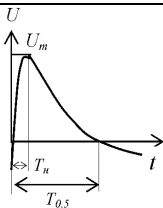
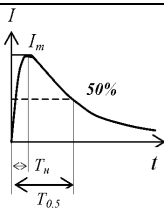
Первичная обмотка представляет собой один виток плоской медной шины сечением $15 \times 0,25 \text{ мм}^2$, концы которой выведены на входные клеммы ИТ-1,2 ХР2. Вторичная обмотка («контрольный контур» – КК) представляет со-

бой массивный виток, концы которого выведены на выходные клеммы ХР3. Габариты ИТ-1,2 455х130х115 мм.

Проборами для создания данного испытательного генератора служили ранее созданные у нас и длительно эксплуатируемые установки, имитирующие импульсы грозовых разрядов на борту летательных аппаратов, а именно: установка УИМ по стандарту ОСТ 1 01160-88 [2], установка УИГ по стандарту ГОСТ 30586-95 [3] и генератор ИГЛА-КИ-3 по стандарту КТ-ВВФ/DO-160D/ED-14D/ [4]).

Генератор ИГЛА-КИ-1,2 предназначен для проведения испытаний «кабельной инъекцией» БАО в полном объеме с требованиями НД [1] испытательными импульсами напряжения и тока формы «1,2» обеих полярностей по пяти уровням испытаний. В табл. 1 приведены требования к форме и АВП испытательных импульсов напряжения и тока, которые с учетом допусков в полном объеме реализованы в генераторе ИГЛА-КИ-1,2.

Таблица1 – Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-КИ-1,2

Параметр	1		2	
	Ток $I_{исп}$ (ф.1)	Напряжение $U_{пред}$ (ф. – н/н)	Напряжение $U_{исп}$ (ф.2)	Ток $I_{пред}$ (в идеале - ф.1)
1	2	3	4	5
1. Испытательный комплект				
2. Уровни испытаний:				
– 1	(100 + 10) А	≤ 50 В	(50 + 5) В	≤ 100 А
– 2	(250 + 25) А	≤ 125 В	(125 + 13) В	≤ 250 А
– 3	(600 + 60) А	≤ 300 В	(300 + 30) В	≤ 600 А
– 4	(1500 + 150) А	≤ 750 В	(750 + 75) В	≤ 1500 А
– 5	(3200 + 320) А	≤ 1600 В	(1600 + 160) В	≤ 3200 А
3. Время нарастания, T_n , мкс	6,4 ± 1,28	не нормировано	≤ 0,1	6,4 ± 1,28
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	69 ± 13,8	не нормировано	6,4 ± 1,28	69 ± 13,8

Генератор ИГЛА-КИ-1,2 представляет собой высоковольтную электро-разрядную установку с программируемым таймером-коммутатором, которая генерирует однократные испытательные импульсы напряжений и тока форм «1» и «2» обеих полярности по пяти уровням испытаний, которые можно подавать на БАО с программируемым количеством испытательных импульсов и интервалами между ними.

Общий вид генератора ИГЛА-КИ-1,2 с инжектирующим трансформатором ИТ-1,2 приведен на рис. 2, а передняя панель генератора – на рис. 3.



Рисунок 2 – Общий вид генератора ИГЛА-КИ-1,2 с ИТ-1,2



Рисунок 3 – Передняя панель генератора ИГЛА-КИ-1,2

Генератор ИГЛА-КИ-1,2 собран в металлическом корпусе с габаритами 480x210x495 мм. На передней панели ИГЛА-КИ-1,2, рис. 3, расположены следующие органы управления и контроля:

- клавиша СЕТЬ с подсветкой служит для подачи напряжения питания 220 В 50 Гц на генератор ИГЛА-КИ-1,2 и для его отключения после окончания работы;
- разъем ~ 220 В служит для подключения к генератору ИГЛА-КИ-1,2 сетевого кабеля;
- «ЗА» – предохранители;
- переключатель ФОРМА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА служит для установления формы испытательного напряжения генератора ИГЛА-КИ-1,2 и имеет два положения: «1» и «2»;
- переключатель ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ служит для установления уровня испытательного напряжения генератора ИГЛА-КИ-1,2 и имеет пять положений: «1», «2», «3», «4», «5»;
- ручка РЕГУЛИРОВКА $U_{зар}$ служит для установки зарядного напряжения генератора ИГЛА-КИ-1,2 на красные риски на микроамперметре;
- ТАБЛО ПТК служит для отображения параметров циклограмм работы генератора ИГЛА-КИ-1,2;
- кнопка СТАРТ/СТОП служит для запуска и остановки генератора ИГЛА-КИ-1,2;
- кнопки «↑» и «↓» КОЛ. ИМП. служат для изменения количества испытательных импульсов;
- кнопки «↑» и «↓» ИНТЕРВ. служат для изменения интервала между испытательными импульсами;
- световой индикатор РАЗРЯД слева от ТАБЛО ПТК служит для контроля срабатывания генератора ИГЛА-КИ-1,2.

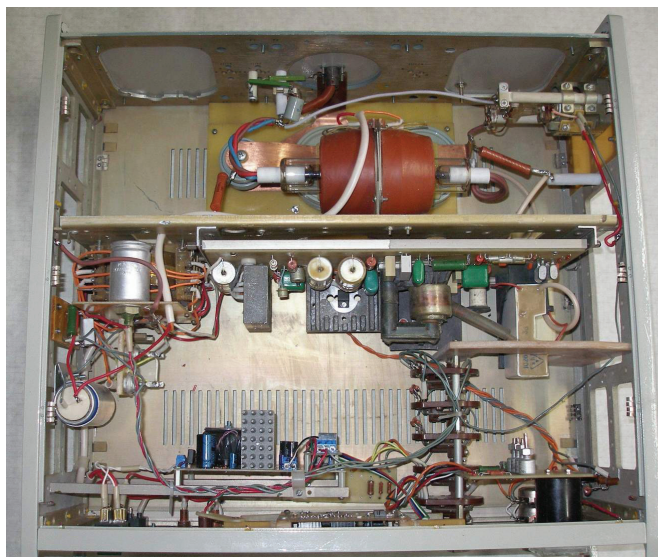


Рисунок 4 – Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-КИ-1,2

На задней панели генератора ИГЛА-КИ-1,2 расположены следующие органы управления и контроля:

- разъем Выход служит для подключения генератора ИГЛА-КИ-1,2 к ИТ-1,2 при помощи соединительного кабеля КС-ИТ-1,2;
- клемма \perp служит для подключения генератора ИГЛА-КИ-1,2 к контуру заземления.

Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-КИ-1,2 приведено на рис. 4.

Блок-схема генератора ИГЛА-КИ-1,2 приведена на рис. 5.

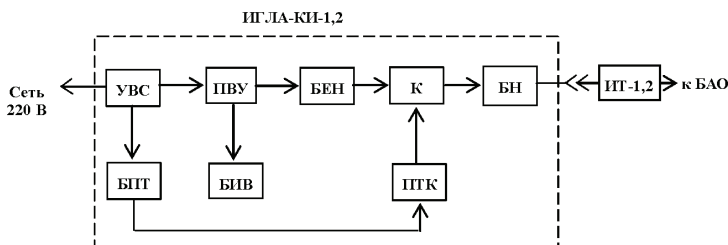


Рисунок 5 – Блок-схема генератора ИГЛА-КИ-1,2

- УВС – узел ввода сетевого напряжения;
 ПВУ – повысительно-выпрямительное устройство;
 БЕН – блок емкостных накопителей;
 К – блок коммутаторов;
 БН – блок нагрузок;
 ПТК – программируемый таймер-коммутатор;
 БПТ – блок питания ПТК;
 БИВ – блок измерения входного напряжения;
 ИТ-3 – инжектирующий трансформатор;
 БАО – бортовое авиационное оборудование

На рис. 6-7 приведены тест-осциллограммы испытательного тока положительной и отрицательной полярностей и импульсов напряжения испытательного комплекта 1 для пятого испытательного уровня, а на рис. 8 и 9 – тест-осциллограммы испытательного напряжения и предельного тока 2 комплекта 5 уровня положительной и отрицательной полярностей.

Согласно нормативному документу КТ-ВВФ/DO-160D/ED-14D/ испытания методом КАБЕЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИИ – это метод испытаний, при котором испытательные импульсы напряжений и токов индуцируются в межблочные линии связи (МЛС) БАО.

Для испытания БАО методом нагружения МЛС импульсами тока и напряжения в ИТ-1,2 необходимо собрать схему по рисунку 10. При этом в раскрытый ферритовый блок ИТ-1,2 вложить испытываемую МЛС, после чего закрыть ИТ-1,2 и стянуть его фиксирующей шпилькой.

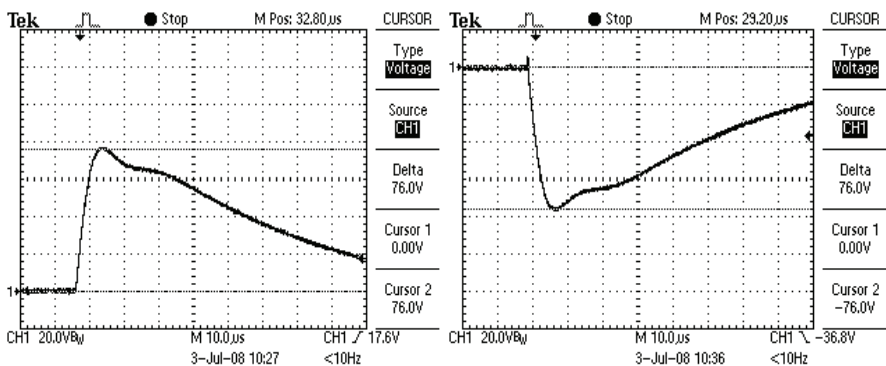


Рисунок 6 – Типовые осциллограммы испытательного тока 1 комплекта 5 уровня положительной и отрицательной полярностей (3220 A)

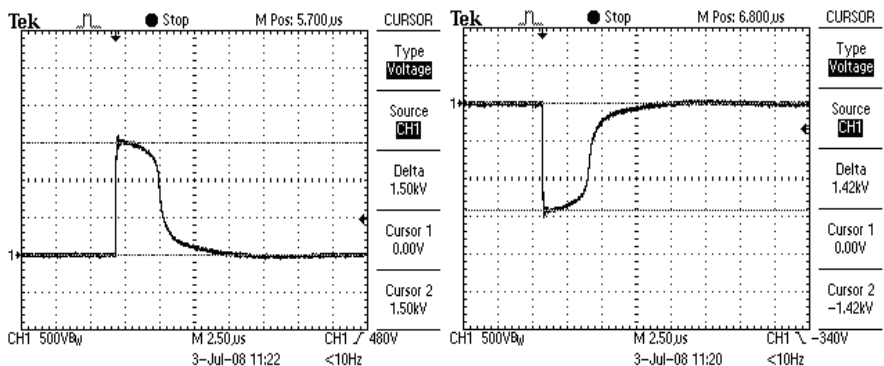


Рисунок 7 – Типовые осциллограммы предельного напряжения 1 комплекта 5 уровня положительной и отрицательной полярностей (1500 B)

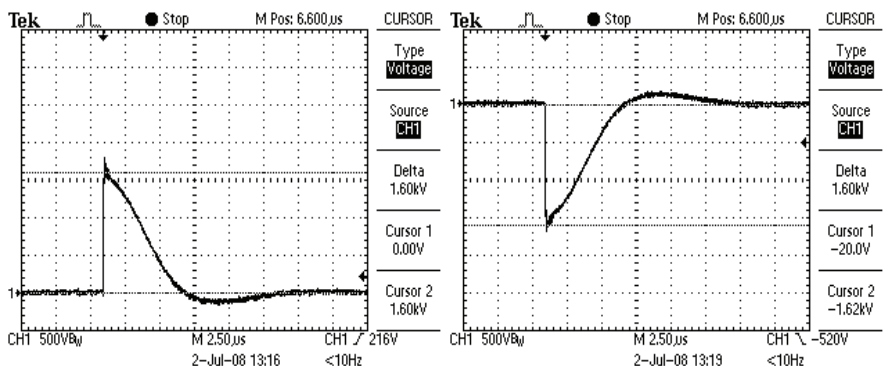


Рисунок 8 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения 2 комплекта 5 уровня положительной и отрицательной полярностей (1600 B)

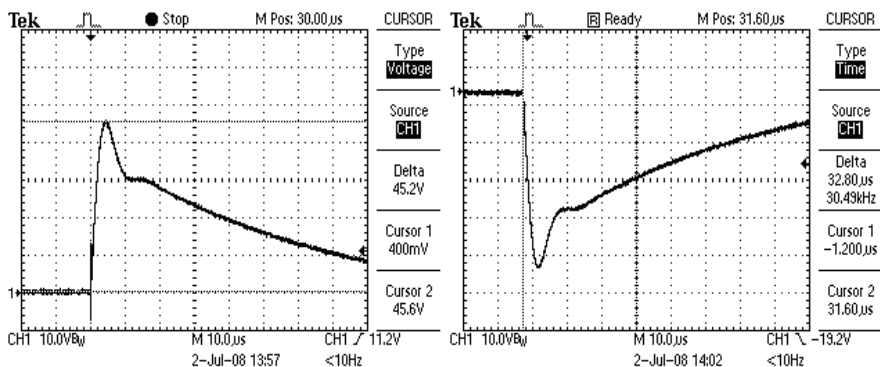


Рисунок 9 – Типовые осциллограммы предельного тока 2 комплекта 5 уровня положительной и отрицательной полярностей (1915 А)

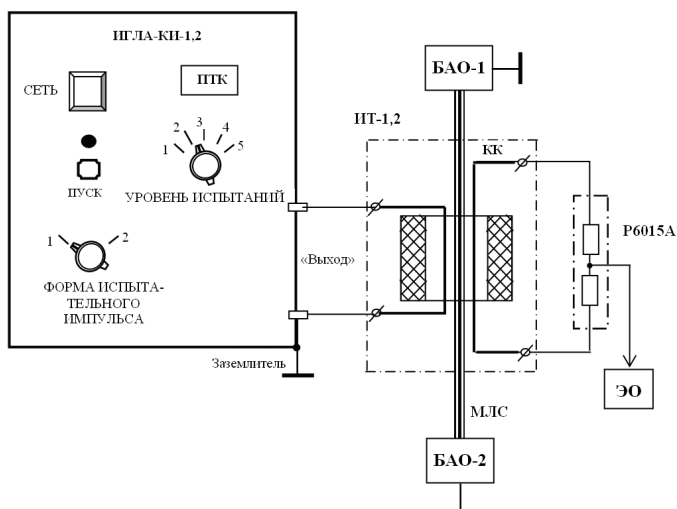


Рисунок 10 – Схема испытаний БАО с МЛС: Г-ИГЛА-КИ-1,2 – испытательный генератор; P6015A – шуп высоковольтный P6015A 1000X; ЭО – осциллограф TEKTRONIX TDS1012; МЛС – межблочные линии связи; БАО-1, БАО-2 – испытываемое оборудование

Затем на передней панели генератора установить требуемую форму испытательного импульса и испытательный уровень, а на ТАБЛО ПТК установить заданные по программе испытаний количество испытательных импульсов и интервал между ними. Остается только нажать кнопку СТАРТ и испытания пройдут автоматически с заданной циклограммой испытаний.

Выводы: Генератор ИГЛА-КИ-1,2 прошел государственную первичную аттестацию в ГП «Харьковстандартметрология», а затем начал опытную экс-

платацию в НИО-2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» при проведении испытаний БАО методом «кабельной инъекции» на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией.

Список литературы: 1. КТР-ВВФ /DO-160D/ED-14D/. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. (Внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний. Раздел 22.0 Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. 2. Князев В.В., Кравченко В.И., Лесной И.П., Немченко Ю.С., Сомхив С.Б. Установка для испытаний бортового оборудования самолетов и вертолетов на молниестойкость типа УИМ // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Випуск 3(9). – Харків, 2006. – С. 43-45. 3. Князев В.В., Немченко Ю.С., Лесной И.П., Лантушко Б.Н., Дорошенко А.В. Установка для испытаний технических средств на молниестойкость УИГ // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Випуск № 17. – 2006. – С. 3-9. 4. Князев В.В., Немченко Ю.С., Лесной И.П., Сомхив С.Б. Генератор для проведения испытаний бортового авиационного оборудования на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией («Кабельная инъекция», форма 3) ИГЛА-КИ-3 // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Випуск № 11. – 2009. – С. 45-53.

Поступила в редколлегию 11.10.2011.

УДК 621.31

В.В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, зав.отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
А.Ю.СКОБЛИКОВ, аспирант, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ ПОЛЕЙ

В статті наведено обґрунтування методики випробувань несприйнятливості бортового обладнання літаків до дії високо інтенсивних електромагнітних полів. Методика базується на застосуванні випробувального обладнання, яке є у наявності в лабораторіях України. Методика дозволяє суттєво зменшити вартість таких випробувань при тій же достовірності отриманого результату відносно рівня несприйнятливості. Методика базується на застосуванні методу діагностики електромагнітних екранів, який розроблено авторами.

In the article a ground over of methodology of tests of immunity of side equipment of airplanes is brought to the action highly intensive electromagnetic fields. Methodology is based on application of proof-of-concept equipment, which a presence in the laboratories of Ukraine has. Methodology allows substantial to bring down the cost of such tests, for storage of authenticity of the got result in relation to the level of immunity. Methodology is based on application of method of diagnostics of electromagnetic screens, which is worked out by authors.

В статье приведено обоснование методики испытаний невосприимчивости бортового оборудования самолетов к действию высоко интенсивных электромагнитных полей. Методика базируется на применении испытательного оборудования, которое есть в наличии в лабораториях Украины. Методика по-